

## 基于分区和能量距离因子的 LEACH 改进协议

卞有为, 张玲华

(南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京, 210023)

**摘要:** LEACH 协议是无线传感器网络中分布式成簇网络协议中的经典算法。但网络中的簇头能量消耗不平均、节点死亡时间出现的早等问题较为严重, 本文提出了改进的基于分区和能量距离因子的 LEACH-EDP 协议。通过提出距离修正和剩余能量修正因子来修正簇头选举阈值函数, 对部署实施区域分区, 针对区域进行各种增益参数权重的调整, 从而延缓网络中死亡节点的第一次出现, 使 WSN 的存活时间得到一定的延长。仿真实验表明, 与传统 LEACH 协议进行对比, LEACH-EDP 协议死亡节点的出现推迟了 79.5%, 网络死亡时间延迟了 57.4%。

**关键词:** 无线传感器网络; LEACH; 能量因子; 距离因子

**中图分类号:** TP393      **文献标志码:** A

### LEACH Improved Protocol Based on Partition and Energy-Distance Factor

BIAN Youwei, ZHANG Linghua

(School of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210023, China)

**Abstract:** LEACH protocol is a classical algorithm for distributed cluster networks in wireless sensor networks. But the problems such as uneven energy consumption and premature death of nodes are more serious. An improved LEACH-EDP protocol based on partition and energy-distance factor is proposed in this paper. The threshold function of cluster head election is optimized by residual energy and distance correction coefficient. A partitioning policy is used in the protocol. The weights of various gain parameters are adjusted according to the region. The simulation results show that compared with the traditional LEACH protocol, the death node of LEACH-EDP protocol was delayed by 79.5%, and the network death time was delayed by 57.4%.

**Key words:** wireless sensor networks; LEACH; energy factor; distance factor

## 引 言

无线传感器网络 (Wireless sensor network, WSN) 是一种随机部署在某个地域范围内的自组织网络<sup>[1]</sup>。WSN 的目标是对部署区域内的目标对象的数据进行感知、采集和处理, 将处理过的数据发送给基站 (Base station, BS), BS 将数据呈现给监测者。WSN 具有低能耗、低价格、自组织且部署便捷的特点, 在环境勘察、医疗救助和军事行动中有着广泛运用<sup>[2]</sup>。

**基金项目:** 国家自然科学基金 (61771258) 资助项目。

**收稿日期:** 2020-06-10; **修订日期:** 2020-09-02

WSN 一般部署在人员无法到达的特殊区域,例如战场、自然灾害发生时的受灾地区<sup>[3]</sup>。从部署阶段开始,传感器节点的能量补充就几乎是不可能的,这一直持续到传感器节点死亡。如何高效利用网络中的有限能量是 WSN 的重要研究方向。在保持传感器节点能量不变的情况下,尽可能延长整个系统的寿命。

WSN 网络中一般有 2 种节点:普通节点和 Sink 节点<sup>[4]</sup>。Sink 节点一般只有 1 个,它负责汇聚全网的信息,发送给监测者,一般有能量供给。除 Sink 节点外为普通节点,这些传感器通过人力随机部署在需要监测的地区,位置固定,没有能量供给。

如果每一个节点都直接与 Sink 节点通信,普通节点的能量会急剧衰耗,而且会发生严重的数据阻塞,降低网络的传输效率,延迟增大<sup>[5]</sup>。针对这些问题,许多学者提出了分簇的思想,节点被分成许多小集群。最初的分布式分簇算法,低功耗自适应集簇分层型协议(Low energy adaptive clustering hierarchy, LEACH),由麻省理工大学的 Heinzelma 等提出,基本思想是 WSN 分成若干簇子网,每簇子网中有一个簇头节点,簇头节点接收簇内节点发送来的数据,融合后发给 Sink 节点,他们定义了簇头选举阈值函数,协议采取轮流竞选簇头的方式,使网络的能量得到更好利用,网络的可工作时间得到了显著延长<sup>[6]</sup>。但是由于簇头选举的随机性,部署离 Sink 节点过远的簇头容易提前耗尽能量,导致外围的节点死亡早,出现热区现象,不利于网络的生存。Younis 等<sup>[7]</sup>在 LEACH 基础上提出了改进的混合节能分布式分簇协议(Hybrid energy-efficient distributed, HEED)协议,在簇头选择时考虑到节点的剩余能量,但是没有考虑到节点和 Sink 的距离,簇头节点的分布不均。文献[8]中给出了 LEACH-C 协议,BS 在后台决定哪些节点当选簇头,BS 了解节点的分布,优化了簇头分配,但节点和 BS 频繁地交换位置和能量信息加速了网络能量消耗。文献[9]提出一种四分相低功耗自适应集簇分层型协议(Quadrature-LEACH, Q-LEACH)算法,将部署区域分区 4 次,提高了网络的数据吞吐量延长网络寿命。文献[10]提出了节能低功耗自适应集簇分层型协议(Energy-efficient LEACH, EE-LEACH)算法,选择剩余能量最高的节点将数据转发给 BS,有助于提供更好的数据包传递比率,减少能量的消耗。文献[11]的改进型低功耗自适应集簇分层型协议(LEACH-advance, LEACH-AD)算法,综合了节点密度和剩余能量,对簇头选举函数进行修正,但没有考虑节点的分布和距离因子,远距离的簇头耗能快。

针对以上问题,本文提出了一种基于分区和能量距离因子的 LEACH 改进协议(LEACH energy-distance-partition, LEACH-EDP)。在该算法中提出剩余能量因子和距离因子并计算,针对无线电衰耗模型对部署区域进行分区,采取不同的修正参数,最后对簇头选举阈值函数进行修正,有针对性地改变因子的权重,可以有效延长 WSN 的生存时间。通过仿真和数据对比得出,LEACH-EDP 协议与传统 LEACH 和 LEACH-AD<sup>[11]</sup>相比,降低了能量消耗,延长了网络寿命,并延缓了第 1 个死亡节点出现的时间。

## 1 系统模型

### 1.1 网络模型

本文对 WSN 做如下的设定:

- (1) 网络开始运行前,随机部署传感器节点,传感器节点无法移动,直到网络死亡。
- (2) 所有节点的初始能量相同,拥有特有的身份标识(Identity document, ID)号,且拥有等效的计算、通信和融合数据的能力。
- (3) Sink 节点拥有稳定的能量供应,数据处理能力不限,除外的普通节点无能量补充。
- (4) 每个节点都有与 Sink 节点通信的能力,可以通过感知信号的强度,计算出与发送者的距离。

### 1.2 能耗模型

WSN采用一阶无线电模型的通信能耗模型如图1所示,简单假设分为发送端和接收端,单位为J。发送节点对采集的数据进行放大和传输消耗能量,接收节点接收消耗能量。

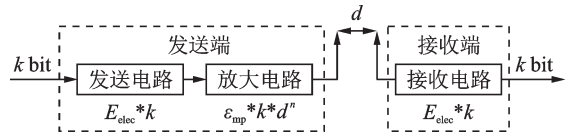


图1 能耗模型

Fig.1 Energy consumption model

由一阶无线电模型<sup>[8]</sup>可知,能量消耗公式如式(1),(2)所示。

发送端能耗为

$$E_t = \begin{cases} k(E_{elec} + \epsilon_{fs} * d^2) & d < d_0 \\ k(E_{elec} + \epsilon_{mp} * d^4) & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

接收端能耗为

$$E_r = E_{elec} * k \quad (2)$$

式中, $E_{elec}$ 为发射电路的消耗能量, $d$ 为发送节点与接收节点之间的距离, $k$ 为数据包的大小, $\epsilon_{mp}$ 为多径衰落损耗系数, $\epsilon_{fs}$ 为自由空间损耗系数, $d_0$ 为自由空间衰落和多径衰落的切换阈值,定义为

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (3)$$

## 2 LEACH 协议

LEACH算法是最早的分布式成簇算法,整个网络自组织成簇,每个簇只有一个簇头。LEACH算法中为簇的选举定义了一个周期,每个节点根据阈值函数轮流竞争成为簇头,尽量避免一个节点连续当选簇头而导致能量消耗快,节点提前死亡。在一个个周期中,节点选举簇头成簇,普通节点甄选距离值最小的簇头加入簇头的小网络,将从环境中感知的信息发送给簇头,簇头融合数据再发送给BS,这样一个个周期重复下去,完成WSN感知采集数据的任务。LEACH算法的简要步骤如下:

(1) 每个周期开始,所有节点竞争选举簇头,每个节点随机生成一个大于0小于1的随机数,如果此值小于阈值函数  $T(n)$  的值,则这个节点被选为簇头,阈值函数  $T(n)$  定义为

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \left( r \bmod \left( \frac{1}{p} \right) \right)} & n \in G \\ 0 & n \notin G \end{cases} \quad (4)$$

式中, $p$ 为节点通过选举函数竞选成为簇头的概率, $r$ 为当前的周期数, $n$ 为节点总数, $G$ 为非簇头的节点集合。

- (2) 选举上的簇头向网络广播自己的信息,普通节点选取离自己最近的簇头加入其簇网络。
- (3) 建立时隙表,分配时隙,簇内节点采集处理数据后将数据发给簇头节点。
- (4) 簇头接收成员发来的数据包,将融合后的数据包发给BS。

## 3 LEACH-EDP 协议

传统的LEACH算法,簇头选举完全随机,对于部分距离BS很远的簇头,这些节点可能提前耗尽能量,退出网络系统,不利于网络的整体生存。LEACH-AD<sup>[11]</sup>算法修正了簇头选举阈值函数,引入节点能量和密度因子,但是没有考虑到多径衰落的模型,远距离簇头能耗依旧很大。针对以上情况本文提出

LEACH-EDP 算法。LEACH-EDP 对阈值函数依据能耗模型进行修正,提出新型剩余能量和距离因子,对部署区域进行分区,针对环境来权衡能量和距离因子的权重,在不同的区域采用不同的修正系数,能够达到延长网络寿命、降低能量损耗的目标。

### 3.1 能量因子

随着运行周期的不断增加,WSN 网络中所有节点拥有的能量会逐渐降低,但对于远离 Sink 节点的节点,如果连续当选簇头,该节点的能量会快速下降,整个网络会出现“热区”现象,即围绕着 BS 的区域中的簇头能量消耗少,远离 BS 的区域中簇头能量消耗大,在外围的节点会提前死亡,外围的节点死亡过多,系统丧失对外围的数据监测,不利于网络的工作运行。针对这种情况,可以将节点的剩余能量因素引入到簇头的竞选过程中。文献[11]中 LEACH-AD 协议引入了剩余能量因子,对簇头选举阈值函数(式(4))进行修正,剩余能量因子定义为

$$E_{\text{factor}} = E_i \quad (5)$$

式中, $E_i$  为网络中第  $i$  个节点的剩余能量,随着网络周期的不断增加,节点的能量在不断减少,可知  $E_i$  在不断减少,剩余因子  $E_{\text{factor}}$  在阈值函数中所占的权重会不断减少,在网络运行的后期  $E_{\text{factor}}$  会很小,从而失去均衡簇头的作用。为此本文提出改进的剩余能量因子  $E_{\text{factor}}$ , 定义为

$$E_{\text{factor}} = \frac{E_i - E_{\text{avg}}}{E_{\text{avg}}} \quad (6)$$

式中, $E_i$  为第  $i$  个节点的当前能量, $E_{\text{avg}}$  为网络的节点平均能量。根据式(6)中计算得到的剩余能量因子,相比原来的因子,不会随着系统能量的减少而降低权重,且当节点  $i$  的能量小于节点平均能量时, $E_{\text{factor}}$  为负数,此节点通过阈值函数当选簇头的概率下降,使整个网络的簇头分布更加合理,延长网络的工作时间。

### 3.2 距离因子

文献[11]中的 LEACH-AD 算法,引入了密度因子来修正簇头的竞选阈值函数,定义为

$$D_i = \sum_{j=1}^{k_n} \frac{R_0^2}{R_j^2} \quad (7)$$

式中, $R_0$  为通信半径, $k_n$  为节点  $i$  通信半径内的节点个数, $R_j$  为通信半径内的节点到节点  $i$  的距离。

由于节点随机分布在部署区域内,当某个节点周围密度过小时, $R_j$  会很小,导致  $D_i$  过大,趋于无穷值,不利于簇头选举概率的调整。随着网络运行,网络中部分节点会陆陆续续死亡,退出系统,节点密度会不断降低, $D_i$  的权重会不断减少,直到失去均衡作用。

本文 LEACH-EDP 算法引入距离因子来均衡簇头的能量消耗。远离 Sink 的节点消耗的能量一般大于其他节点,引入距离因子来均衡簇头选举概率。

文献[12]中提出距离因子  $\phi = d_0/d_i$ ,其中  $d_0$  同式(3)中的定义, $d_i$  为节点到 Sink 节点的距离。 $d_0$  为定值,此距离因子只由  $d_i$  决定,当  $d_i$  很大或很小时,距离因子相差很大,不利于调整参数的范围,为此本文采取归一化的方法,对  $d_i$  进行归一化处理<sup>[13-14]</sup>,重新定义距离因子  $D_{\text{factor}}$  为

$$D_{\text{factor}} = \frac{D_{\text{max}} - D_i}{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}} \quad (8)$$

式中, $D_{\text{max}}$  为全网节点和 Sink 节点距离的最大值, $D_{\text{min}}$  全网节点和 Sink 节点距离的最小值, $D_i$  为节点  $i$  和 Sink 节点之间的距离。

如式(8)所示,距离因子经过归一化,数值被控制在 0 到 1 之间,当节点  $i$  离 Sink 最远时,距离因子为 0,当节点  $i$  离 Sink 最近时,距离因子为 1,有利于控制参数。

经过这样的设计,在能量因素相同的条件下,距离 Sink 节点越近,有更大几率当选簇头,离 Sink 节点远的节点当选的几率降低。

### 3.3 区域划分

由一阶无线电模型可知,节点能耗与距离  $d$  的  $n$  次方呈线性关系,尤其当发送端和接收端的距离大于  $d_0$  时,节点能量的消耗量将从  $d$  的平方变成  $d$  的四次方,节点能耗极大增加,所以,针对距离大于  $d_0$  的节点,按照  $d_0$  为半径, Sink 为中心,将部署区域分为 2 个部分,文献[15]中提出了一种分区方法,如图 2 所示。

以  $d_0$  为半径将部署区域分为 2 部分,小于  $d_0$  的区域记为 Area<sub>1</sub>,大于等于  $d_0$  的区域记为 Area<sub>2</sub>。

根据无线电一阶模型,2 区域内簇头节点采取不同的能耗公式,所以通过分区来对 2 个区域的簇头选举阈值函数进行有针对性的修正。

LEACH-AD 协议<sup>[11]</sup>采用的簇头选举阈值函数为

$$\begin{aligned} T'(n) &= T(n) * F \quad n \in G \\ F &= \alpha E_i + \beta D' \end{aligned} \quad (9)$$

式中,  $E_i$  为能量因子(剩余能量),  $D'$  为节点密度因子,  $\alpha$  和  $\beta$  均为增益参数。由于 LEACH-AD 没有进行分区处理,对远近簇头的优化采取同样的策略,不利于网络能量的均衡。为解决这一问题,本文 LEACH-EDP 算法采取新的簇头选举阈值函数,且针对不同区域采取不同的优化参数去修正函数,如式(10),(11)所示。

$$T''(n) = \begin{cases} T(n) * F_1(n) & n \in G, n \in \text{Area}_1 \\ T(n) * F_2(n) & n \in G, n \in \text{Area}_2 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} F_1(n) &= 1 + \omega_1 * E_{\text{factor}} + \omega_2 * D_{\text{factor}} \\ F_2(n) &= 1 + \omega_3 * E_{\text{factor}} + \omega_4 * D_{\text{factor}} \end{aligned} \quad (11)$$

式中,  $T(n)$  为 LEACH 簇选举阈值函数;  $E_{\text{factor}}$  为能量因子;  $D_{\text{factor}}$  为距离因子;  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  为增益参数, Area<sub>1</sub>, Area<sub>2</sub> 分别为位于区域 1、2 的节点集合。

新的修正函数针对不同的区域采用不同的增益参数。对于区域 1 中的节点,这些节点离 Sink 近,采用的是自由空间衰落能耗模型,节点能量的消耗相对多径传输较少,区域周围节点的能量相差不大,希望在修正时增大距离因子的权重,减少能量因子的权重。对于区域 2 中的节点,这些节点位于部署区域的外围,采用的是多径衰落能耗模型,能耗较大,节点易提前死亡,希望在修正时增大能量因子的权重,适量减少距离因子的权重。

LEACH-EDP 算法采取分区处理,引入能量和距离因子,合理调整增益参数,有针对性地修正簇头选举阈值函数,均衡了网络能耗,有助于延长网络的寿命,延缓第一个死亡节点的出现。

### 3.4 LEACH-EDP 算法流程

LEACH-EDP 算法步骤如下:

(1) Sink 节点向全网广播消息,接收节点根据信号的强度计算出自己与 Sink 节点之间的距离,按照式(3)划分自己所在的区域。

(2) 区域划分完成后,节点向 Sink 节点汇报区域划分已完成,并交换距离和能量控制信息。Sink 节

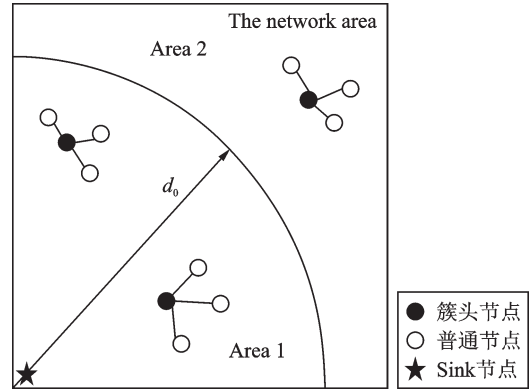


图2 区域分区

Fig.2 Region partition



点接收汇报的控制信息,根据式(6)计算出最大最小距离、当前周期系统平均剩余能量,广播消息给其他节点。

(3) 进入簇头竞选阶段。所有普通节点收到 Sink 的信息,根据式(6),(8),计算当前节点的能量因子  $E_{factor}$  和距离因子  $D_{factor}$ 。

(4) 节点生成一个大于 0 小于 1 的随机数 rand, 根据自己所在的区域,对照式(10)选取相应的阈值公式计算  $T(n)$ ,若 rand 小于  $T(n)$  则本周期当选簇头,广播自己是簇头的消息,否则为普通节点。

(5) 普通节点收到周围簇头的广播消息,按照信号的强弱,选取最近的簇头加入。

(6) 簇头的建立完成,进入数据传输阶段。普通节点感知环境对象的信息,处理好后发给子网里的簇头节点,簇头融合子网的数据发送给 BS。

(7) 一个周期完成,重复簇头的选举,直到网络中所有节点死亡。

算法流程图如图 3 所示。

算法伪代码如下所示:

```

init(); %初始化并定义各种常数参数
for i=1 to n %按照均匀分布随机部署节点
S集合
    S(i).x_d=rand(1,1)*x_m; %x_m 为区域 x 轴最大
    大值
    S(i).y_d=rand(1,1)*y_m; %y_m 为区域 y 轴最大
    值
    S(i).E=E_0; %设置初始能量为 E_0
    S(i).type='N'; %节点初始化类型为普通
end
for i=1 to n
Calculate_D_max&D_min&Partition(); %计算 D_max, D_min, 每个节点的分区所属
end
for r=1 to r_max %周期总循环
for i=1 to n %簇头选举循环
Calculate_D_factor&E_factor(); %计算距离因子和能量因子
if (位于区域 1?)
    采取策略 1;
elseif (位于区域 2?)
    采取策略 2;

```

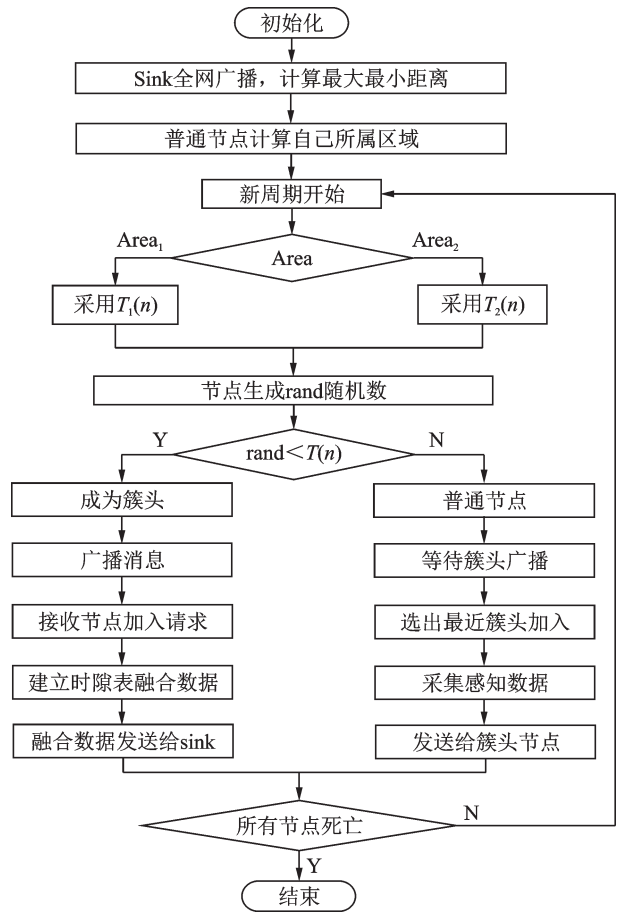


图 3 算法流程图

Fig.3 Algorithm flow chart

```

end
if (rand <  $T_n$ )
    该节点标记为簇头;
else
    该节点标记为普通节点;
end
end
for  $i=1$  to  $n$  %计算普通节点能耗
if (普通节点?)
    找出最近的簇头节点,加入,计算距离,按照能耗公式,计算能量消耗();
end
end
for  $i=1$  to  $n$  %计算簇头节点能耗
if (簇头节点?)
    计算融合数据耗能();
    计算传输 sink 的能耗();
end
end
Calculate_Energy&Energy_avg&Dead(); %计算网络剩余能量,平均能量,节点死亡数
end

```

#### 4 实验仿真与结果分析

本文在 Matlab 2016 b 上进行仿真实验,对算法 LEACH、LEACH-AD、LEACH-EDP 进行性能比较和分析。选取网络几个时间点的节点分布、网络节点剩余能量、网络节点死亡量作为性能指标进行比较。网络参数设置见表 1。

表 1 网络参数设置

Table 1 Network parameter setting

参数类型	值	参数类型	值
网络范围/ $m^2$	$100 \times 100$	EDA/ $(nJ \cdot bit^{-1})$	5
节点个数/个	100	数据包大小/bit	4 000
Sink 节点坐标	(0,0)	控制信息大小/bit	200
节点初始能量/J	0.5	最大周期数	2 000
$\epsilon_{fs}/(pJ \cdot (bit^{-1} \cdot m^2))$	10	$w_1, w_2$	1.3, 2.1
$\epsilon_{mp}/(pJ \cdot (bit^{-1} \cdot m^4))$	0.001 3	$w_3, w_4$	1.7, 0.9
$E_{elec}/(nJ \cdot bit^{-1})$	50		

##### 4.1 节点分布图

本实验假设部署区域为  $100 \times 100$  的方形区域,节点数量为 100 个, Sink 坐标为 (0,0), 按照均匀分布部署在区域中, 初始分布图如图 4 所示。

本实验选取 2 次相同时间点对 3 种算法的节点活动状态进行比较, 如图 5 所示。3 种算法使用相同

的初始节点分布,通过比较在相同时间点的分布图,可以直观判断出算法的性能。

由图 5 中的节点分布可知,在周期 600 时,LEACH 算法中区域外围的节点几乎已经死亡,LEACH-AD 中外围节点仍有部分节点还在活动,LEACH-EDP 算法中外围有大量节点存活;随着网络运行,在周期 900 时,LEACH 中的外围节点完全死亡,LEACH-AD 中只有数个节点存活,LEACH-EDP 中还有不少节点存活。这主要是因为,LEACH-EDP 算法考虑到了分区因素,在外围通过能量和距离因子来减少低能量节点成为簇头的概率,使得外围的节点存活时间延长,有利于网络的运行。

### 4.2 死亡节点个数

网络初始化设置节点个数为 100 个。BS 位置设计位于部署区域的边缘,可以更好的测试算法在极端环境下的性能。图 6 呈现了随周期数变化的网络死亡节点数。

LEACH 算法的第一个死亡节点出现在周期 348;LEACH-AD 算法第一个死亡节点出现在周期 377,相较 LEACH 延迟了 8.3%;LEACH-EDP 算法第一个死亡节点出现在周期 625,相较 LEACH 和 LEACH-AD 算法分别延迟了 79.5%、65.7%。

所有节点死亡则判定网络死亡。LEACH 算法的网络死亡时间在周期 1 191;LEACH-AD 算法的网络死亡时间在周期 1 433,相较 LEACH 延迟了 20.3%;LEACH-EDP 算法的网络死亡时间在 1 875,相较 LEACH 和 LEACH-AD 算法分别延迟了 57.4%、30.8%。

以上分析可以得出 LEACH-EDP 算法在延长网络寿命上优于 LEACH 和 LEACH-AD 算法,主要是因为 LEACH-EDP 考虑了节点能量和节点距离,针对不同的区域节点采取不同的优化参数,改变相应的因子权重来均衡网络能量,让有能量位置适合的节点作为簇头来融合数据,延缓节点死亡。

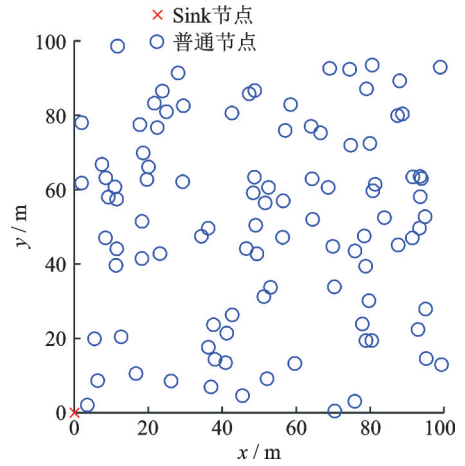


图 4 初始节点分布图

Fig.4 Initial node distribution map

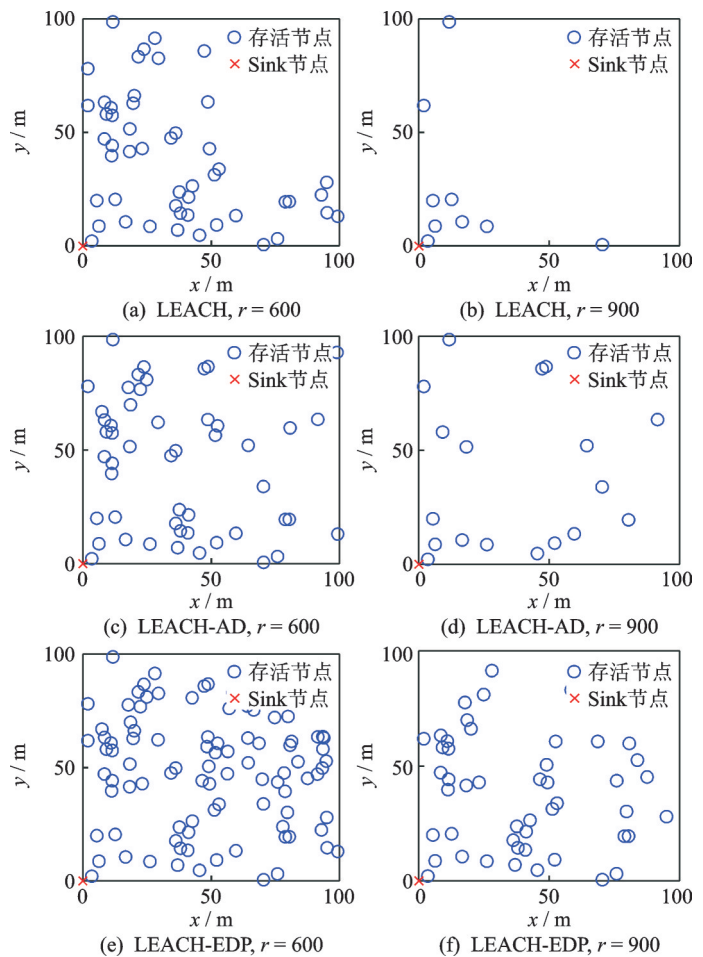


图 5 节点分布图

Fig.5 Node distribution map



### 4.3 网络剩余能量

网络初始化设置所有普通节点能量为 0.5 J, 100 个普通节点, Sink 节点能量无限制, 网络初始总能量为 50 J。随周期变化的网络剩余能量如图 7 所示。

网络能量损耗 50% 时, LEACH 和 LEACH-AD 算法的周期大约在 300, LEACH-EDP 的周期大约为 360, 相较前两种算法延迟了大约 20%; 网络能量损耗 90% 时, LEACH 算法周期为 603, LEACH-AD 算法周期为 631, LEACH-EDP 算法周期为 758, 相较前两种算法分别延迟 25.7%、20.1%。

以上分析可以得出, LEACH-EDP 在均衡网络能量上要优于 LEACH 和 LEACH-AD 算法, 主要是由于 LEACH-EDP 更加合理的簇头选举, 使能量没有被过度浪费, 分区的作用使外围节点尽量减少使用多径衰落的能耗模型, 减少外围节点的能耗, 均衡整个网络的能耗。

### 4.4 结果分析

根据以上的实验结果, 可以证明 LEACH-EDP 协议在网络生存时间、能量消耗上要优于 LEACH 和 LEACH-AD 协议。

从簇头成簇的机理上分析, LEACH 没有对能量和距离加以考虑, 簇头的选举完全随机, 在区域边缘的节点能量消耗本就较大, 相比中心地域的节点能量提前耗尽, 节点死亡, 网络探测失去作用。LEACH-AD 考虑了能量和密度但是效果并不明显。LEACH-EDP 通过能量和距离因子优化了传统簇头选举函数的不合理性, 使有能量且位置合理的节点更可能当选, 减少了某些簇头节点能耗过大情况的出现, 分区策略调整了不同因子的权重, 减少能量热区的出现。

但考虑到 LEACH-EDP 对于簇头选举函数的修正可能导致相比 LEACH 增加了平均簇头个数, 在一般相同周期中, 对于外围的节点仍有存活, 一般节点会继续寻找簇头并成簇, 这可能增加了节点间通信的次数, 使网络的总延迟增加。

## 5 结束语

本文针对 LEACH 协议和 LEACH-AD 提出改进的 LEACH-EDP 协议。LEACH-EDP 协议采取了分区策略, 对不同部署区域采取不同的优化方式来均衡权重因子, 对于簇头选举阈值函数使用能量和距离因子来修正。同时对 LEACH、LEACH-AD、LEACH-EDP 进行仿真对比, 实验结果表明 LEACH-EDP 延长了网络的工作时间, 延缓了第一个死亡节点的出现时间、更高效地利用了网络能量。

### 参考文献:

- [1] 李晓维. 无线传感器网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 1-20.  
LI Xiaowei. Wireless sensor network technology[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2007: 1-20.
- [2] 任丰源, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003(7): 55-58.

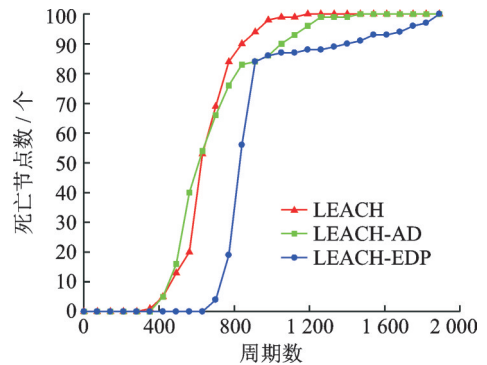


图6 死亡节点个数

Fig.6 Number of death nodes

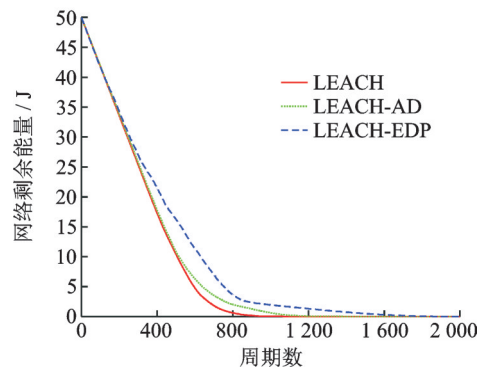


图7 网络剩余能量

Fig.7 Network residual energy

- REN Fengyuan, HUANG Hailing, LIN Chuang. Wireless sensor network[J]. Journal of Software, 2003(7): 55-58.
- [3] 杨卓静. 无线传感器网络应用技术综述[J]. 信息技术, 2010(11): 127-129.  
YANG Zhuojing. Overview of wireless sensor network application technology[J]. Information Technology, 2010(11): 127-129.
- [4] 钟杰卓, 杜文才, 吴慰. 无线传感器网络的系统化自适应建模[J]. 数据采集与处理, 2016, 31(4): 832-837.  
ZHONG Jiezhao, DU Wencai, WU Wei. Systematic adaptive modeling of wireless sensor networks[J]. Data Acquisition and Processing, 2016, 31(4): 832-837.
- [5] 杨柳. 基于分簇结构的无线传感器网络节能路由协议研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.  
YANG Liu. Research on energy-saving routing protocol of wireless sensor networks based on clustering structure[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [6] CHANDRAKASAN H A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks [C]// Proc 33rd Hawaii Int'l Conf Sys Sci Maui. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2000: 3005-3014.
- [7] YOUNIS O, FAHMY S. Heed: A hybrid energy-efficient distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computer, 2004, 3(4): 660-669.
- [8] HEINZELMA W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H. An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(4): 660-667.
- [9] MANZOORA B, JAVAIDA N, REHMANA O, et al. Q-LEACH: A new routing protocol for WSNs[J]. Procedia Computer Science, 2013, 1(19): 926-931.
- [10] ARUMUGAM G S, PONNUCHAMY T. EE-LEACH: Development of energy-efficient LEACH protocol for data gathering in WS[J]. Wireless Com Network, 2015, 76(1): 45-51.
- [11] 余学帆, 武莎莎, 姚美琴. 改进 LEACH 分簇路由算法[J]. 长春工业大学学报, 2020, 41(1): 43-46.  
YU Xuefan, WU Shasha, YAO Meiqin. Improved LEACH clustering routing algorithm[J]. Journal of Changchun University of Technology, 2020, 41(1): 43-46.
- [12] 蒋悦涛, 彭瑞. 基于距离概念的 LEACH 路由算法改进与仿真[J]. 电脑知识与技术, 2012, 8(26): 6222-6227.  
JIANG Yuetao, PENG Rui. Improvement and simulation of LEACH routing algorithm based on distance concept[J]. Computer Knowledge and Technology, 2012, 8(26): 6222-6227.
- [13] 乔欣, 常飞, 丁恩杰, 等. 基于跳距修正的 WSN 拟牛顿迭代定位算法[J]. 传感技术学报, 2014, 27(6): 797-801.  
QIAO Xin, CHANG Fei, DING Enjie, et al. WSN quasi-newton iterative location algorithm based on jump distance correction [J]. Journal of Sensing Technology, 2014, 27(6): 797-801.
- [14] 李正周, 缪鹏飞, 刘勇, 等. 基于无线传感器网络的大型场所火情检测与定位算法[J]. 数据采集与处理, 2014, 29(6): 964-969.  
LI Zhengzhou, MIAO Pengfei, LIU Yong, et al. Large-scale fire detection and location algorithm based on wireless sensor network[J]. Data Acquisition and Processing, 2014, 29(6): 964-969.
- [15] 方旺盛, 陈朕浩, 胡中栋. 分区和能耗均衡的 LEACH 路由改进算法[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(10): 2746-2751.  
FANG Wangsheng, CHEN Zhenhao, HU Zhongdong. LEACH routing improvement algorithm for zoning and energy consumption balance[J]. Computer Engineering and Design, 2019, 40(10): 2746-2751.

## 作者简介:



卞有为(1997-),男,硕士研究生,研究方向:无线传感器网络协议能量均衡, E-mail: 905483187@qq.com。



张玲华(1964-),通信作者,女,博士,教授,研究方向:智能信号与信息处理、语音信号处理及现代通信技术、现代通信网络与信息处理。

(编辑:张彤)